

Biologie de la reproduction chez les phanérogames

1- Introduction :

Après un temps de végétation dont la durée est caractéristique de chaque espèce, les phanérogames peuvent entrer en phase de reproduction sexuée. Ce passage de l'état végétatif à l'état de reproduction sexuée dépend de nombreux facteurs tels les rythmes d'éclairement (photopériodisme) et de température (thermopériodisme).

Lorsque toutes ces conditions sont réalisées, les phanérogames édifient leur appareil reproducteur et, selon les espèces, sous forme soit de fleurs solitaires ou fleurs isolées, soit de groupes de fleurs ou inflorescences (**Planche 29 - Fig. 1**).

La fleur est l'appareil reproducteur constitué par les organes reproducteurs mâles et femelles, protégés ou non par des pièces stériles.

Le grain de pollen ou gamétophyte mâle, s'est spécialisé dans le transport de gamètes sur l'appareil reproducteur femelle, après dissémination du pollen ou pollinisation.

L'ovule ou organe femelle contenant le gamétophyte femelle, se transforme après fécondation en graines qui perpétuent l'espèce.

2- Répartition des sexes

Si les organes mâles et femelles sont portés par la même fleur, la fleur est dite hermaphrodite. C'est l'exemple typique des Angiospermes.

Si les organes mâles et femelles sont séparés, chacun porté par une fleur, donc fleur mâle et fleur femelle, on dit que la fleur est unisexuée. Les fleurs unisexuées peuvent être portées de deux manières :

- Les fleurs unisexuées portées par le même individu (ou le même pied), l'espèce est dite monoïque. La monoécie est très répandue chez les Gymnospermes (Pins, Sapins) et les Angiospermes les moins évolués (Châtaigner, Noyer, Noisetier).
- Les fleurs unisexuées sont portées par des pieds séparés, l'espèce est dite dioïque. La diécie est moins fréquente que la monoécie. On la trouve chez quelques Gymnospermes anciens (Ginkgo) et quelques Angiospermes (Palmier).

3- Morphologie florale des Angiospermes

Etude d'une fleur solitaire hermaphrodite (Planche 29 – Fig. 2 & 3) :

Une fleur est généralement portée par un pédoncule floral directement relié à la tige. Lorsque le pédoncule est absent, la fleur est dite sessile.

A la base du pédoncule floral, ou à la base de la fleur sessile se trouve une bractée, petite feuille en général de couleur verte.

Planche 29 : Fleurs des Angiospermes

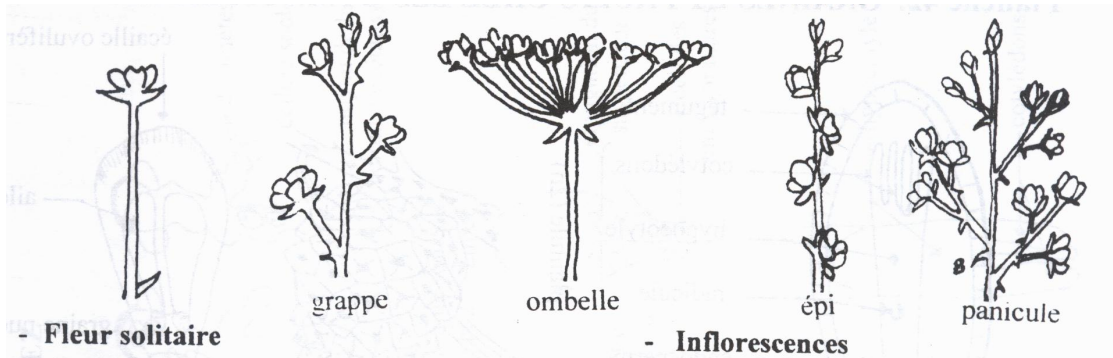


Figure 1 : Quelques type d'inflorescences

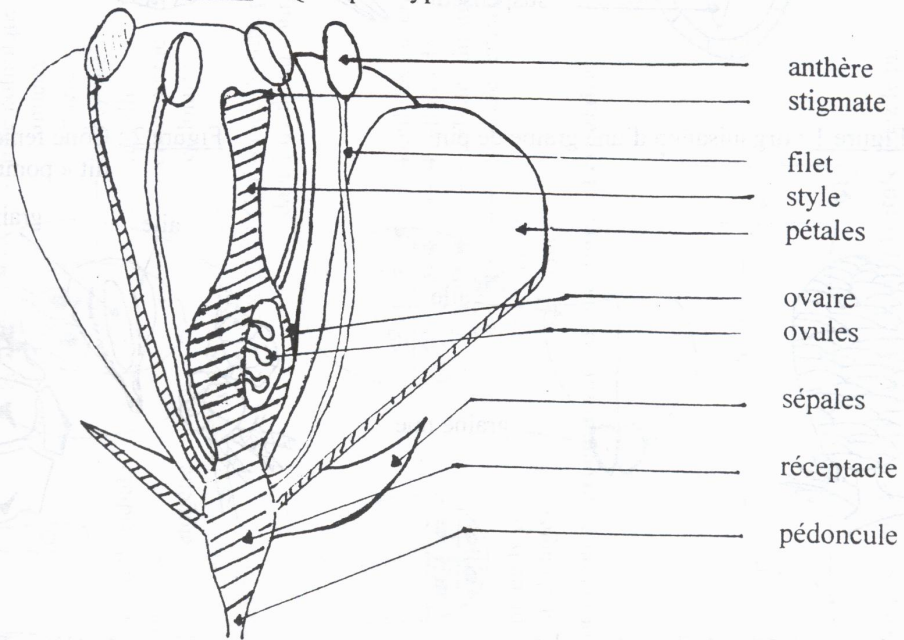


Figure 2 : Coupe longitudinale d'une fleur à **ovaire supère**.

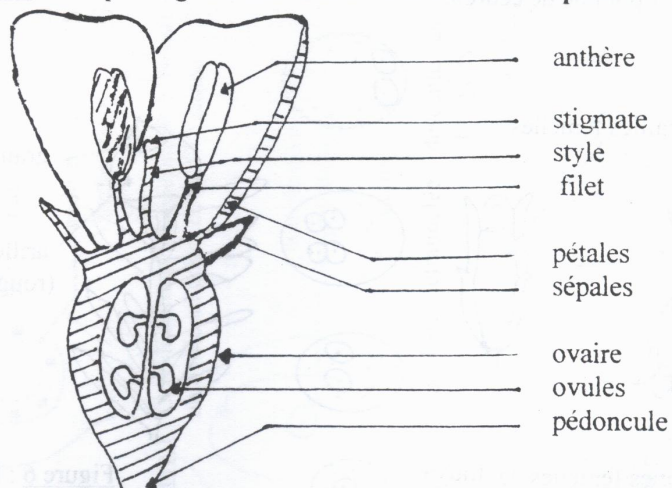


Figure 3 : Coupe longitudinale d'une fleur à **ovaire infère**.

A maturité, une fleur est composée de deux types différents de pièces florales, organisées en quatre verticilles. Les verticilles sont représentés par les pièces florales disposées sur des cercles concentriques et situés de l'extérieur vers l'intérieur de la fleur. Ces pièces florales sont disposées sur le réceptacle qui correspond à l'extrémité renflée du pédoncule floral.

3-1- Pièces florales stériles ou périanthe :

Constituent les deux premiers verticilles : le calice et la corolle qui ont un rôle protecteur des organes reproducteurs.

- **Calice** : C'est le premier verticille externe constitué par l'ensemble des sépales. Elles présentent un aspect foliacé, de couleur le plus souvent verdâtre. Les sépales peuvent être libres (dialysépales), soudées (gamosépales) ou absentes (fleur asépales).
- **Corolle** : C'est l'ensemble des pétales, constituant le deuxième verticille. La corolle est généralement bien développée et toujours colorée par des couleurs vives, suite à la présence des pigments (anthocyanes). Les pétales peuvent être libres (dialypétales), soudées (gamopétales) ou absentes (fleur apétales). En plus de son rôle protecteur, la corolle favorise l'attraction des agents pollinisateurs grâce aux couleurs vives.

Remarques :

- L'ensemble calice + corolle peuvent être de même couleur vive et de même taille, on parle de tépales
- La corolle alterne avec le calice

3-2- Pièces florales fertiles ou organes reproducteurs :

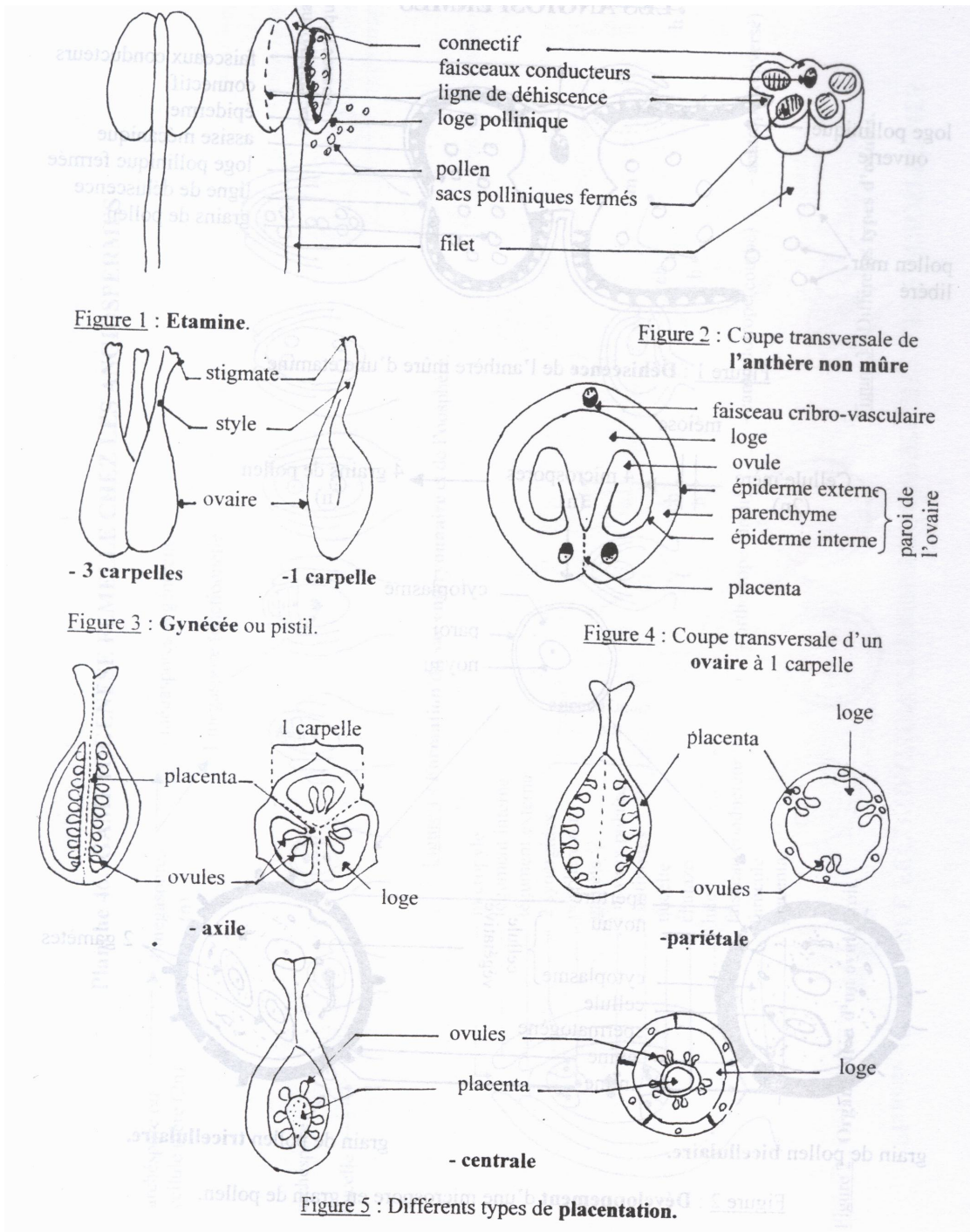
Elles sont impliquées dans la reproduction, protégées par le périanthe. Disposées également sur deux verticilles et de l'extérieur vers l'intérieur, on distingue :

- **Organe reproducteur mâle ou androcée** : L'androcée est l'ensemble des étamines de la fleur, constituant le troisième verticille. Chaque étamine est constituée par un filet et une anthère (**Planche 29 – Fig. 2 & 3**). L'étamine s'insère sur le réceptacle grâce au filet prolongé par le connectif soudé à l'anthère. Le filet est parcouru par les tissus conducteurs qui se prolongent jusque dans le connectif (**Planche 30 – Fig. 1**).

Structure d'une anthère : L'anthère est formée de deux sacs polliniques situés de part et d'autre du connectif. Chaque sac renferme deux loges qui fusionnent à maturité pour ne former qu'une seule loge dans chaque sac. C'est dans les anthères immatures que se développent les grains de pollen (**Planche 30 – Fig. 2**).

- **Organe reproducteur femelle ou gynécée** : Le gynécée ou pistil est constitué par l'ensemble des carpelles fermés, organisés en une base élargie et creuse appelée ovaire et renfermant les ovules et une partie supérieure étroite, le style terminé au sommet par le stigmate. Chez les Angiospermes, il y a un ou plus souvent plusieurs carpelles libres ou plus ou moins soudés entre eux et toujours fermés qui entourent complètement les ovules (un ou plusieurs ovules par carpelle) (**Planche 30 – Fig. 3**).

Planche 30 : Organes reproducteurs mâles et femelles chez les Angiospermes



Organisation du gynécée : Du sommet vers la base, on trouve (**Planche 29 – Fig. 2 & 3**) :

- **Le stigmate** : Situé au sommet du gynécée, il présente différentes formes. Il est récepteur du pollen et possède des papilles qui sécrètent un liquide visqueux favorisant l'accolement et la germination des grains de pollen au cours de la fécondation.

- **Le style** : C'est un tube qui prolonge l'ovaire.

- **L'ovaire** : C'est la partie basale ou renflée du gynécée. Il peut provenir d'un seul carpelle fermé (ovaire unicarpellé) ou de plusieurs carpelles soudées (ovaire pluricarpellé). Il renferme les ovules (mégasporange). Les ovules sont rattachés à l'ovaire par le funicule au niveau de la région appelée placenta (**Planche 30 – Fig. 4**).

Selon le mode de soudure des carpelles, on distingue différents types de placentation (**Planche 30 – Fig. 5**) :

- **Placentation pariétale** : Lorsque les carpelles se soudent entre eux par leurs bords donnant un ovaire à une loge quelque soit le nombre de carpelles. Les ovules sont portés par les bords des carpelles.

- **Placentation axile** : Les carpelles se referment chacun sur lui-même avant de se souder entre eux par leurs faces latérales, donnant un ovaire à autant de loges que de carpelles. Chaque loge étant séparée par une cloison. Les ovules sont alors portés par la région axiale de l'ovaire.

- **Placentation centrale** : Elle est organisée comme la placentation axile, mais les cloisons séparant les loges ont disparus. Les ovules sont attachés au centre. L'ovaire apparaît constitué d'une seule loge même s'il comprend plusieurs carpelles.

Par ailleurs, selon le mode d'insertion de l'ovaire sur le réceptacle par rapport aux autres verticilles, on distingue :

- **Ovaire supère** : Lorsque l'ovaire est situé au dessus par rapport aux autres verticilles (**Planche 29 – Fig. 2**).
- **Ovaire infère** : Lorsque l'ovaire est situé en dessous par rapport aux autres verticilles (**Planche 29 – Fig. 3**).

4- Reproduction des Angiospermes :

4-1- Gamétogenèse mâle :

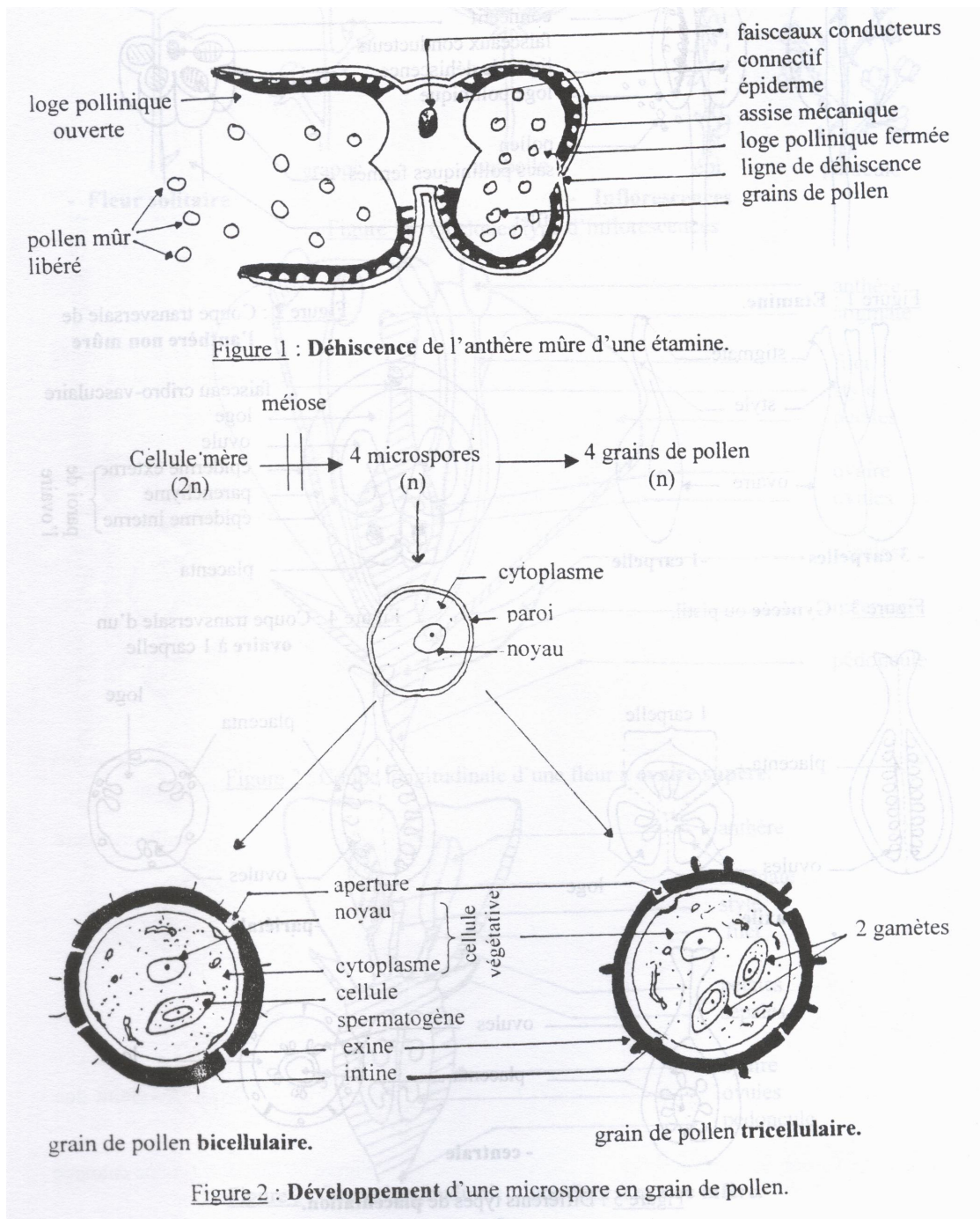
4-1-1- Structure de l'anthere :

Une coupe transversale montre de l'extérieur vers l'intérieur (**Planche 31 – Fig. 1**) :

- Une assise de cellules épidermiques entourant l'anthere
- Une assise mécanique, formée de cellules dont les parois latérales et internes lignifiées. Les parois externes cellulodiques. Cette assise intervient dans l'ouverture ou la déhiscence de l'anthere à maturité
- Plusieurs assises cellulaires transitoires nourricières, constituant le tapis, qui joue un rôle dans le développement des grains de pollen

- Loges polliniques au nombre de deux dans les sacs polliniques matures. Ces loges renferment les grains de pollen
- Un faisceau criblo – vasculaire constituant les tissus conducteurs situés dans le connectif

Planche 31 : Anthère mûre et gaméto-genèse mâle chez les Angiospermes



4-1-2- Déhiscence de l'anthère (Planche 31 – Fig. 1) :

Lorsque le pollen arrive à maturité, il est libéré au niveau de la ligne de déhiscence de l'anthère. La libération des grains de pollen est associée à une dessiccation du contenu de l'anthère qui entraîne une rétraction des parois cellulaires de l'assise mécanique. Celle-ci s'incurve et entraîne une déchirure des cellules à parois cellulodiques de la ligne de déhiscence. Le pollen est alors libéré et il est disséminé par le vent ou par les insectes.

4-1-3- Structure du grain du pollen (Planche 31 – Fig. 2) :

Dans les anthères immatures, apparaissent des cellules mères à $(2n)$, qui après méiose et mitose donne chacune, quatre cellules ou microspores à (n) . Chaque microspore se différencie en grain de pollen.

Les grains de pollen sont des éléments arrondis ou ovoïdes, de très petite taille, généralement de couleur jaune. Ils se présentent avec :

- Une cellule végétative nourricière, contenant des réserves nutritives
- Une cellule spermatogène, qui donne deux gamètes dans le grain de pollen mûr
- Une paroi avec l'exine épaisse et cutinisée, qui peut être lisse ou ornementée ; et l'intine, qui est cellulodique et mince

Au niveau de l'aperture, l'exine est très amincie alors que l'intine est épaisse.

L'aperture présente un rôle germinatif, le tube pollinique entouré par l'intine perce l'exine au niveau de l'aperture.

4-2- Gamétogenèse femelle :**4-2-1- Organisation de l'ovule :**

En coupe longitudinale, l'ovule est constitué par (Planche 32 – Fig. 2) :

- Un funicule, pédoncule de l'ovule qui le fixe au placenta
- Le hile, qui correspond à la base de l'ovule
- Le nucelle, ensemble de cellules parenchymateuses, dans lequel se différencie la cellule mère à $(2n)$ qui formera le sac embryonnaire
- Le sac embryonnaire, constitué de 8 cellules haploïdes contenant l'oosphère ou gamétophyte femelle
- Un à deux téguments, qui protègent l'ovule et qui ménagent une ouverture au sommet de l'ovule : le micropyle
- Des tissus conducteurs, qui pénètrent dans l'ovule et se terminent à la base du nucelle. Le lieu de terminaison des tissus conducteurs est dit chalaze.

4-2-2- Différents types d'ovules :

Il existe trois types d'ovules chez les Angiospermes (Planche 32 – Fig. 3) :

- Ovule orthotrope ou droit
- Ovule campylotrope ou courbé
- Ovule anatrophe ou renversé

Planche 32 : Gamétogenèse femelle chez les Angiospermes

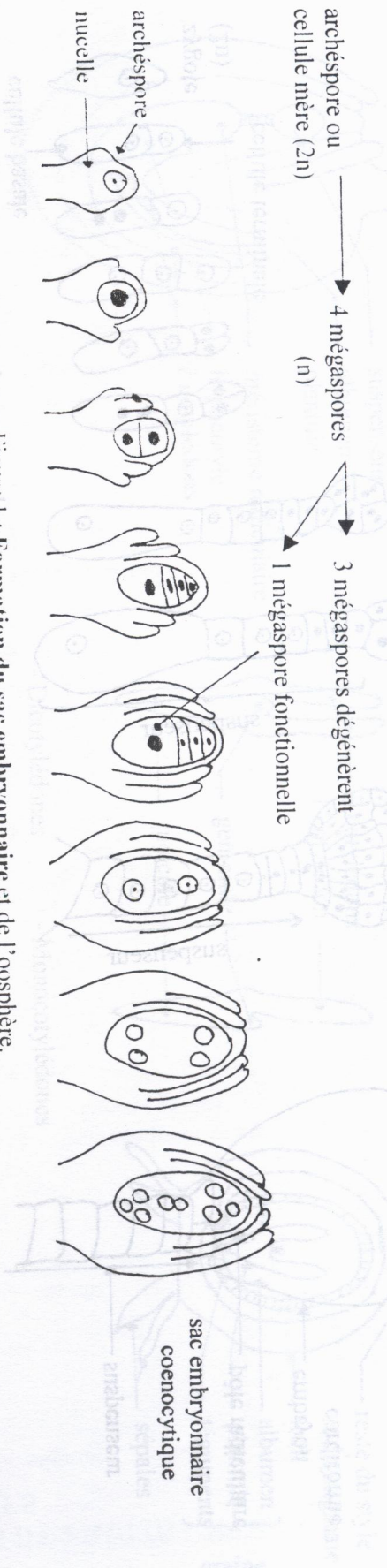


Figure 1 : Formation du sac embryonnaire et de l'oosphère.

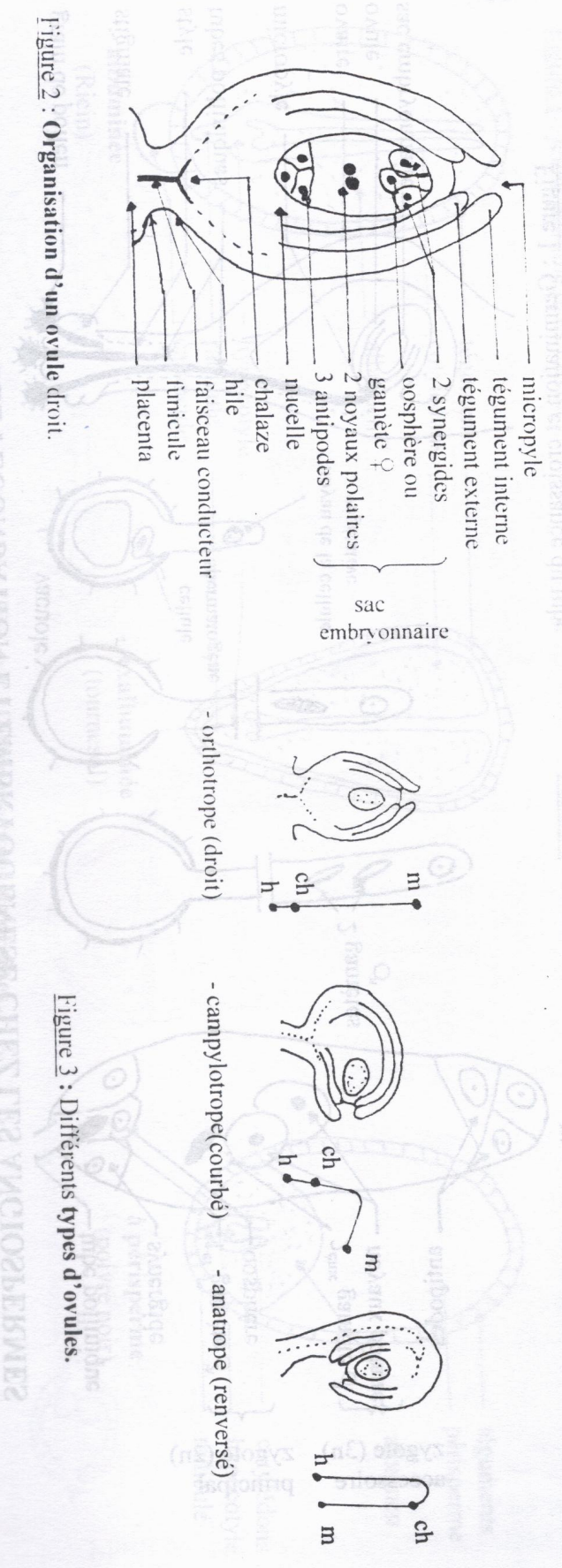


Figure 2 : Organisation d'un ovule droit.

Figure 3 : Différents types d'ovules.

4-2-3- Sac embryonnaire :

Dans les cellules du nucelle se différencie une cellule mère à $(2n)$ qui aboutit après méiose et 3 mitoses successives à la formation du sac embryonnaire formé de 8 cellules haploïdes : oosphère + 2 synergides au pôle micropylaire + 3 antipodes au pôle opposé + 2 noyaux polaires au centre (**Planche 32 – Fig. 1**).

4-3- Pollinisation :

4-3-1- Modes de pollinisation :

Deux modes de pollinisation :

- Autopollinisation, où le stigmate d'une fleur est pollinisé par le pollen porté par la même fleur. Ce mode de pollinisation est exceptionnel.
- Allopollinisation ou pollinisation croisée qui concerne des plante de même espèce dans le cas : sexes séparés (plantes dioïques tel le palmier) ; organes sexués mâles et femelles n'arrivent pas à maturité en même temps (pollen mûr et stigmate immature, pollen non mûr et stigmate réceptif) ; auto - incompatibilité ou barrière physiologique, lorsque le pollen mûr d'une fleur ne peut germer sur le stigmate mature de cette même fleur.

4-3-2- Agents de la pollinisation :

- **Insectes** : 4/5 des Angiospermes sont des plantes entomophiles, c'est l'entomogamie.
- **Vent** : 1/5 des espèces sont anémophiles, c'est l'anémogamie
- **Eau** : mode de pollinisation rare. Le pollen est filamenteux et dépourvu d'exine (Angiospermes aquatiques).

4-3-3- Germination du grain du pollen (**Planche 33 – Fig. 1**) :

Au contact du stigmate, le grain de pollen est reconnu. Un mouvement d'eau a lieu entre le grain de pollen et les tissus du gynécée, provoquant une hydratation du grain de pollen, lequel augmente de volume, entraînant la sortie de l'intine et d'une partie du cytoplasme à l'origine d'un tube pollinique : c'est la germination du grain du pollen.

Au cours de l'allongement du tube pollinique, le noyau de la cellule végétative et la cellule spermatogène passent dans le tube pollinique. Dans le cas du grain de pollen bicellulaire, la cellule spermatogène subit une mitose et donne deux gamètes mâles.

4-4- Double fécondation (**Planche 33 – Fig. 2**) :

Le tube pollinique pénètre dans l'ovule par le micropyle, traverse le nucelle et arrive au sac embryonnaire. Le premier gamète mâle féconde l'oosphère à l'origine d'un zygote principal diploïde $(2n)$ ou embryon. Le second gamète mâle fusionne avec les deux noyaux secondaires pour donner le zygote accessoire triploïde $(3n)$ ou albumen.

Cette double fécondation est caractéristique des Angiospermes. L'embryon à $(2n)$ donne la nouvelle plantule et l'albumen à $(3n)$ assure la nutrition de l'embryon et parfois de la plantule au cours de la germination de la graine.

Planche 33 : Double fécondation et embryogenèse chez les Angiospermes

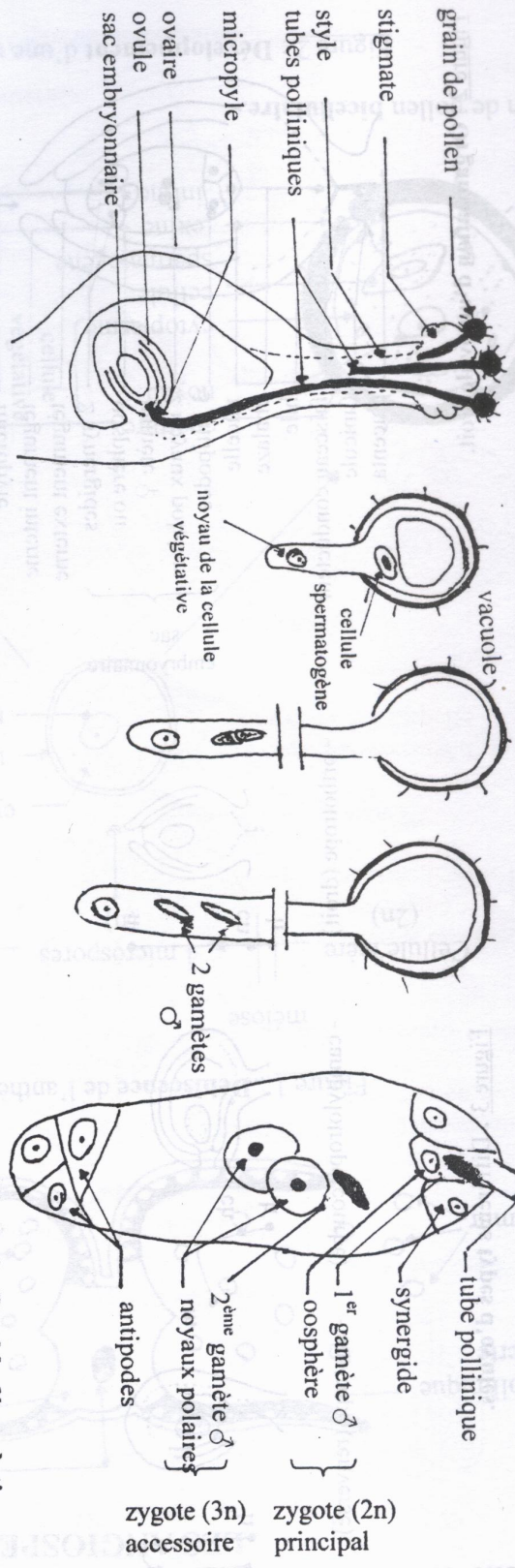


Figure 1 : Germination et croissance du tube pollinique dans un pistil.

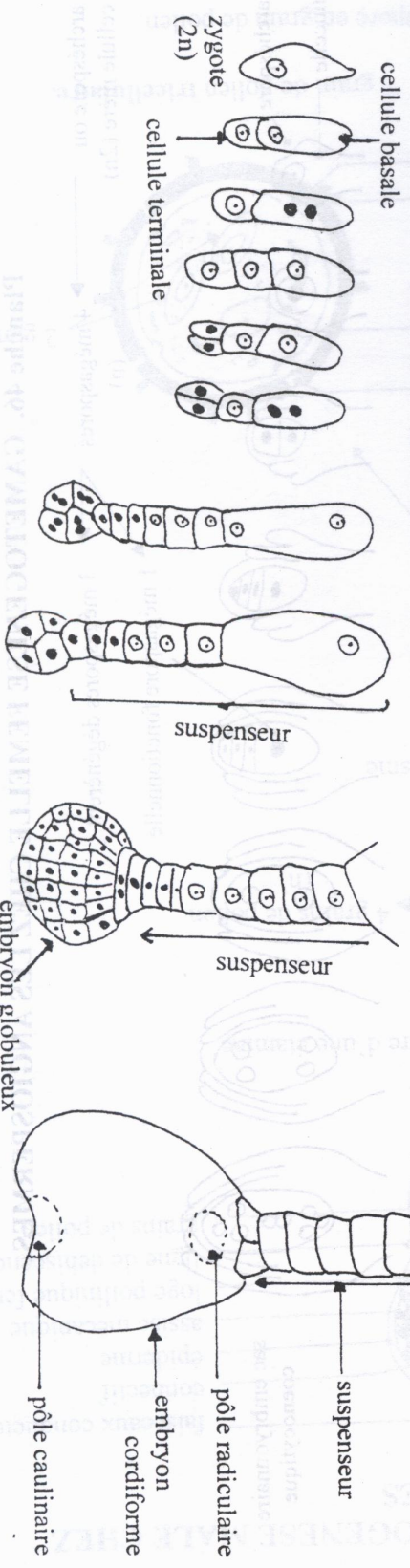


Figure 2 : Double fécondation.

Figure 3 : Développement du zygote principal en embryon.

Figure 3: Développement du zygote principal en embryon. This diagram shows the early stages of embryonic development, from a single cell to a multi-cellular embryo with a suspensor and a globular embryo.

5- Embryogenèse et formation de la graine :

5-1- Développement de l'embryon :

La division du zygote principal donne (**Planche 33 – Fig. 3**) :

- Globule embryonnaire, de forme sphérique fixé à l'albumen par un suspenseur
- Embryon cordiforme, avec mise en place des méristèmes apicaux radicaire et caulinaire
- Transformation de l'embryon en une jeune plantule au sein de l'ovule (**Planche 34 – Fig. 1**).

Remarque : Chez les monocotylédones, l'embryon n'est pas cordiforme. Jusqu'au stade globulaire, les étapes sont identiques à celles des Angiospermes dicotylédones. Après ce stade, la formation du pôle caulinaire sur le côté permet le développement d'un seul cotylédon (**Planche 34 – Fig. 2**).

5-2- Développement de l'albumen :

Le tissu nourricier est utilisé par l'embryon et par la plantule en formation. Sa disparition est parfois complète lorsque la graine est mûre.

5-3- Formation de la graine (Planche 34 – Fig. 3) :

5-3-1- Transformation des téguments de l'ovule :

Les téguments de l'ovule se transforment en téguments de la graine. Si l'ovule possède deux téguments, le tégument interne est réduit à une lame tandis que les cellules du tégument externe s'agrandissent, leurs parois se lignifient assurant la protection de la graine.

5-3-2- Evolution du nucelle :

La croissance de l'albumen et de l'embryon provoque la disparition progressive et parfois complète du nucelle. Chez certaines espèces végétales, une grande partie du nucelle persiste et constitue le périsperme (graines à périsperme) où s'accumule une partie des réserves, stockées dans la graine.

5-3-3- Accumulation des réserves :

Pendant la maturation de la graine qui a lieu sur la plante, les substances de réserve sont accumulées soit dans l'albumen s'il persiste, soit dans le ou les cotylédons lorsque l'albumen a été utilisé et parfois dans le nucelle si celui-ci persiste. Les réserves peuvent être :

- Protéines : Les protéines sont accumulées sous forme de grains d'aleurone, on parle de graines protéagineuses (Pois chiche)
- Lipides : Graines oléagineuses (Colza, Ricin, Soja, Tournesol)
- Glucides : Amidon, grains amylacés (Blé, maïs)
- Association protéo – oléagineuses
- Association oléo – protéagineuses

Planche 34 : Embryogenèse et graines chez les Angiospermes

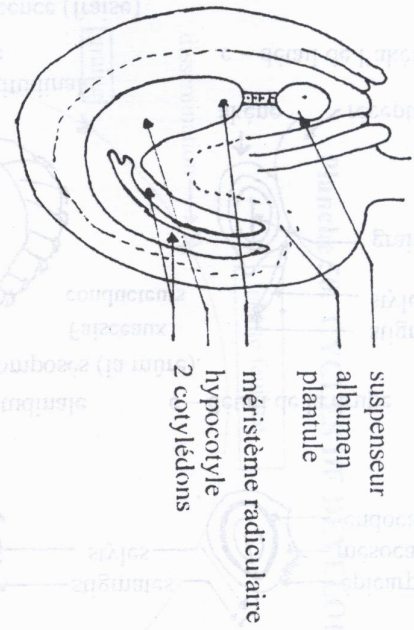


Figure 1 : jeune plantule dans l'ovule.

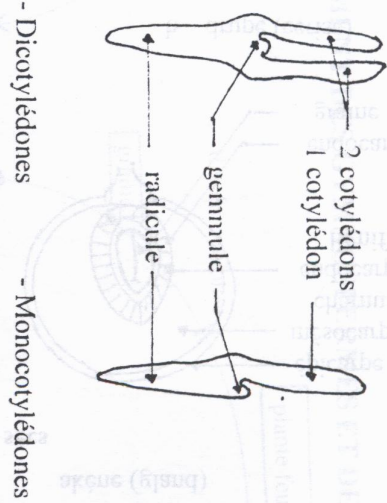


Figure 2 : Plantules.

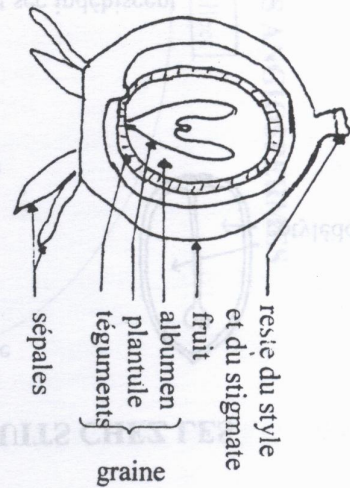


Figure 3 : graine dans le fruit.

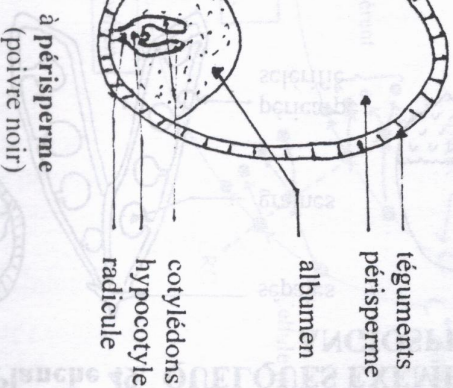
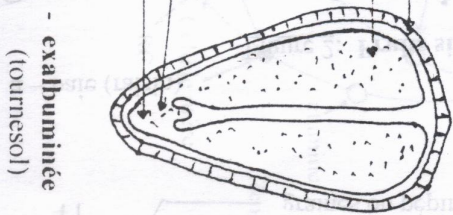
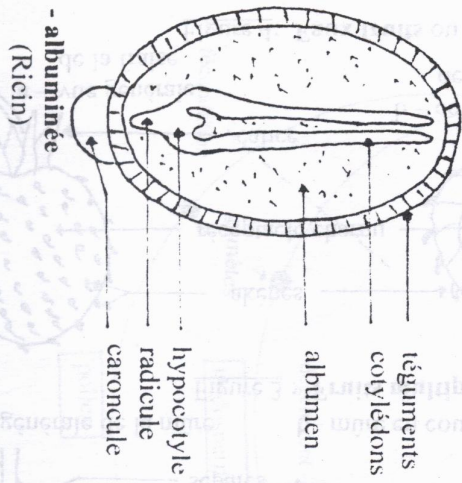


Figure 4 : Différents types de graines.

5-4- Organisation de la graine mûre et les différents types de graines :

Les graines mûres d'Angiospermes sont de taille très diverses, petites de 500 à 600 μm (Tabac, Orchidées) ou volumineuses de quelques cm (graine de Noix de Coco).

La graine est constituée :

- Un tégument, plus ou moins épais, provient du ou des téguments de l'ovule
- L'amande, partie vivante constituée par la plantule et les tissus nourriciers réalisant ainsi 3 types de graines (**Planche 34 – Fig. 4**) :

- **Graines albuminées** : Les cotylédons restent plus ou moins foliacés et plats, et l'albumen persiste et devient volumineux par accumulation de réserves (Exemple : Ricin).

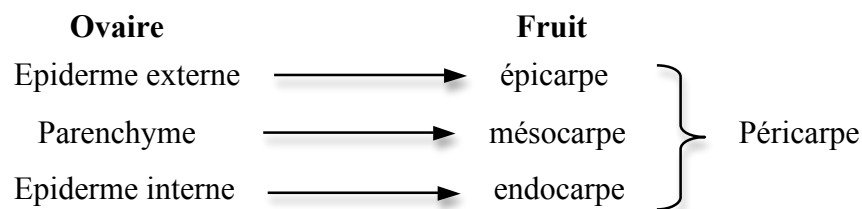
- **Graines exalbuminées** : L'albumen est consommé totalement par l'embryon au cours de son développement, dans ce cas les réserves de la graine sont accumulées dans les cotylédons qui sont très développés (Exemple : Haricot, Tournesol, Petit-Pois).

- **Graines à périsperme** : L'albumen et une partie du nucelle qui persiste, participant au stockage des réserves (Exemple : Poivre noir).

6- Fruits :

6-1- Organisation du fruit :

Après la pollinisation, l'androcée se dessèche. Après la fécondation, la corolle se fane, il ne reste que le calice. Le gynécée subit des transformations, l'ovaire se développe en fruit contenant une ou plusieurs graines. La croissance de l'ovaire en fruit se fait sous l'action d'une hormone de croissance, l'auxine.



6-2- Différents types de fruits :

On distingue plusieurs types de fruits selon la consistance et l'épaisseur du péricarpe, le type de carpelle et le mode de déhiscence du fruit.

6-2-1- Fruits simples :

Ils se forment à partir d'un ovaire unique de la fleur. Il peut être uniloculaire ou pluriloculaire soudé à une seule loge. Il existe deux sortes de fruits simples :

a) Fruits simples secs (Planche 35 – Fig. 1) : Le péricarpe est détaché et se sclérifie. On distingue deux types de fruits secs :

- **Fruits secs déhiscents** : Ils s'ouvrent à maturité et libèrent les graines :

- **Gousse** : Fruit souvent allongé, provenant d'un ovaire uniloculaire. Ce fruit s'ouvre par deux fentes de déhiscence longitudinales, le long de la nervure médiane et du bord placentaire. **Exemple** : Pois (**Planche 35 – Fig. 1a**), haricot, fèves.

Planche 35 : Quelques exemples de fruits chez les Angiospermes

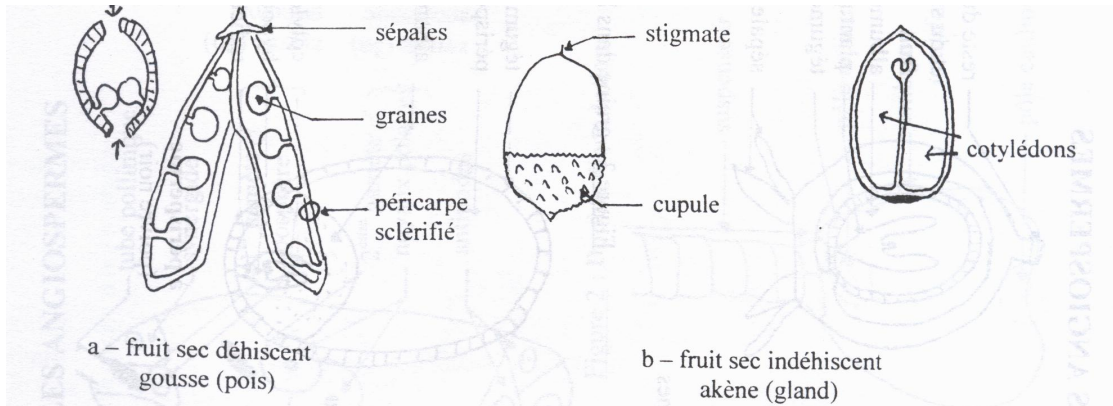


Figure 1: fruits simples secs

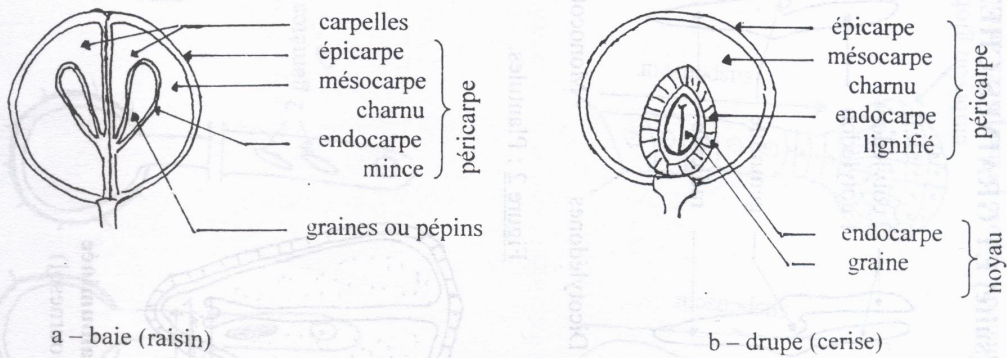


Figure 2: Fruits simples charnus

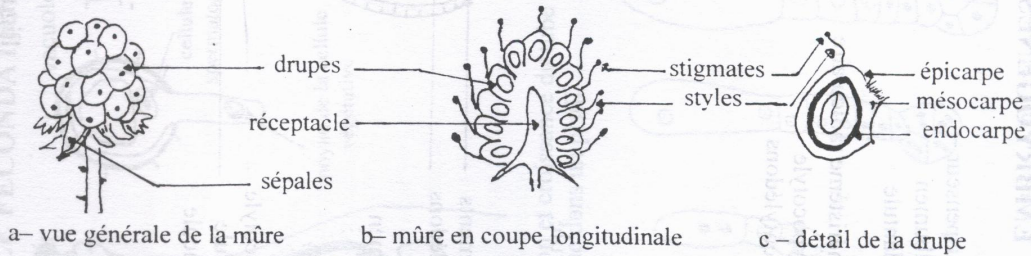


Figure 3 : Fruits multiples ou composés (la mûre).

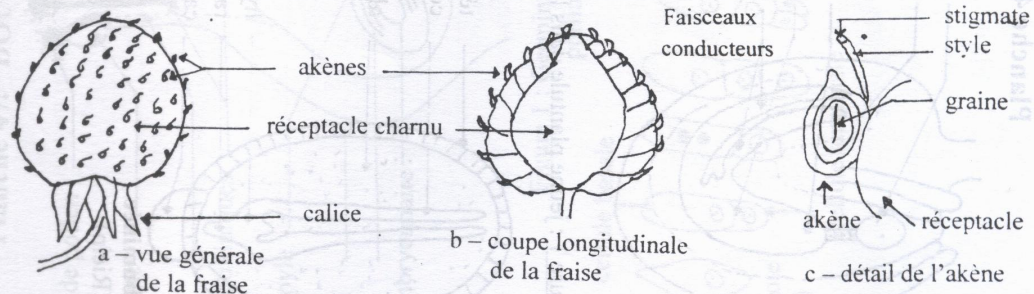


Figure 4: Faux fruits ou infrutescence (fraise)

- **Silique** : Fruit issu d'un ovaire à deux carpelles soudés et séparés par une fausse cloison sur laquelle sont fixés les graines. **Exemple** : Chou, giroflée.
 - **Capsule** : Issu d'un ovaire à plusieurs carpelles soudés. Ce fruit s'ouvre par plusieurs fentes ou par des pores. **Exemple** : Pavot.
 - **Follicule** : Formé d'un carpelle unique.
- **Fruits secs indéhiscents** : Ils ne s'ouvrent pas à maturité. Ils tombent sur le sol, le péricarpe se décompose et la graine est libérée :
- **Akène** : Fruit contenant une seule graine séparée du péricarpe. **Exemple** : Gland (**Planche 35 – Fig. 1b**), noisette.
 - **Caryopse** : Le tégument de la graine est soudé au péricarpe du fruit. **Exemple** : Blé, maïs.

b) Fruits simples charnus (Planche 35 – Fig. 2) : Le péricarpe devient charnu en se chargeant d'eau et de substances de réserves. On distingue également deux types de fruits charnus :

- **Baie ou fruit à pépins (graines)** : Le péricarpe est entièrement charnu :
- **Baie monosperme** : Fruit contenant une seule graine. **Exemple** : Datte, le péricarpe est charnu et comestible ; la graine appelée improprement noyau est constituée par l'albumen dont les parois cellulaires sont très épaisses par développement de cellulose qui réduit la lumière des cellules (noyau ou graine dure).
 - **Baie polysperme** : Fruit contenant plusieurs graines. **Exemple** : Raisin (**Planche 35 – Fig. 2a**), tomate, orange.
- **Drupe ou fruit à noyau** : L'épicarpe et le mésocarpe sont charnus, l'endocarpe est constitué de fibres sclérifiées formant autour de la graine une enveloppe dure (endocarpe sclérifié). **Exemple** : Cerise (**Planche 35 – Fig. 2b**).

6-2-2- Fruits multiples (Planche 35 – Fig. 3) :

Ils se forment à partir de fleurs dont le gynécée est constitué de plusieurs carpelles libres. Chaque carpelle donne un fruit, et donc une fleur donne plusieurs fruits, on parle de fruits multiples. **Exemple** : Mûre.

6-2-3- Faux fruits ou infrutescence (Planche 35 – Fig. 4) :

Fruits complexes qui dérivent du gynécée d'une fleur auquel s'associent d'autres parties de la fleur (réceptacle, calice, corolle). **Exemple** : Fraise, la partie charnue du fruit provient du réceptacle de la fleur, sur lequel se trouvent les vrais fruits ou akènes.